433 MHz communicatie

U kunt legaal een draadloze verbinding maken op een draaggolf frequentie van 433 MHz. Deze frequentie is vrijgegeven voor draadloze communicatie over kleine afstanden met zogenaamde telegrammen. Dankzij deze modules kunt u experimenteren met het zenden en ontvangen van digitale signalen via speciale IC's, Arduino's of Raspberry Pi's.

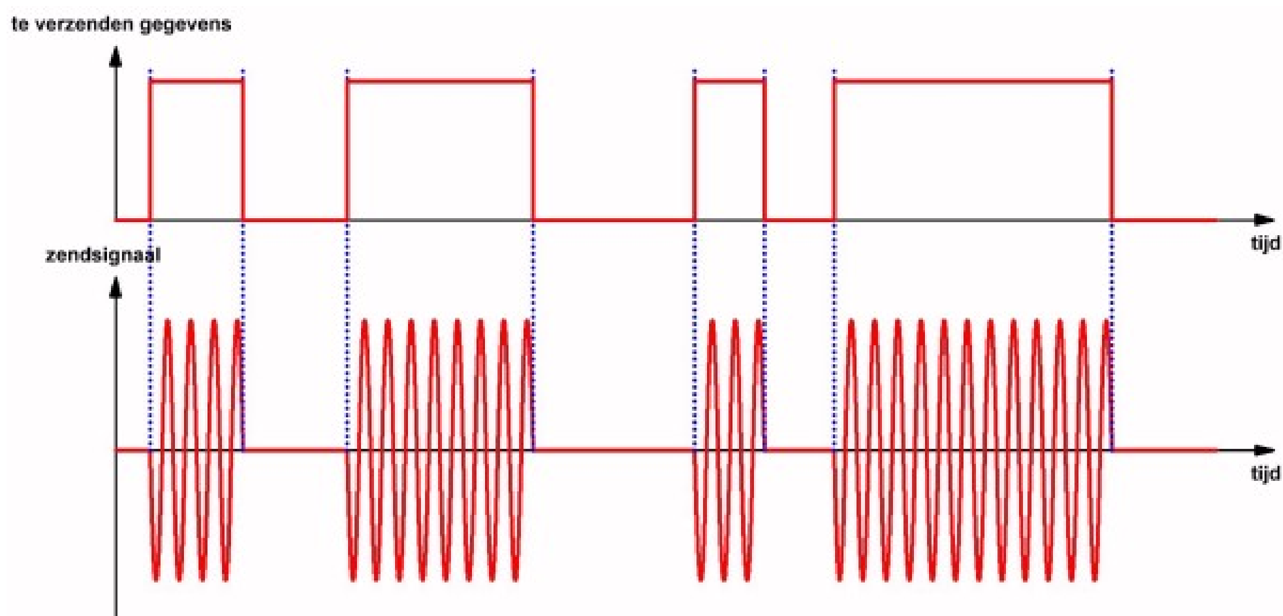
Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl

Publicatiedatum: 31-07-2018

De 433 MHz frequentieband

Waarvoor mag u 433 MHz gebruiken?
De 433 MHz frequentieband is voor iedereen beschikbaar voor draadloze digitale laagvermogen communicatie tussen apparaten zoals sensors, weerstations, garagepoort openers, draadloze deurbellen en domotica. De bekende goedkope zenders en ontvangers van onder andere KlikAanKlikUit, waarmee u apparaten op afstand draadloos kunt bedienen en verlichting kunt dimmen, werken in deze 433 MHz band.

433 MHz communicatie werkt met Amplitude Shift Keying
Deze apparaten werken met 100 % amplitude-modulatie. De draaggolf met een frequentie van 433 MHz is ofwel aanwezig, ofwel afwezig. U kunt bijvoorbeeld afspreken dat de aanwezigheid van de draaggolf overeen komt met het uitzenden van een digitale 'H' en het afwezig zijn deze draaggolf betekent dat een digitale 'L' wordt uitgezonden. Dit systeem noemt men 'Amplitude Shift Keying', afgekort tot ASK. Dank zij het ontbreken van bidirectionele communicatie en encryptie zijn de communicatie-protocollen eenvoudig van aard en bijvoorbeeld met uw Arduino gemakkelijk te maken.



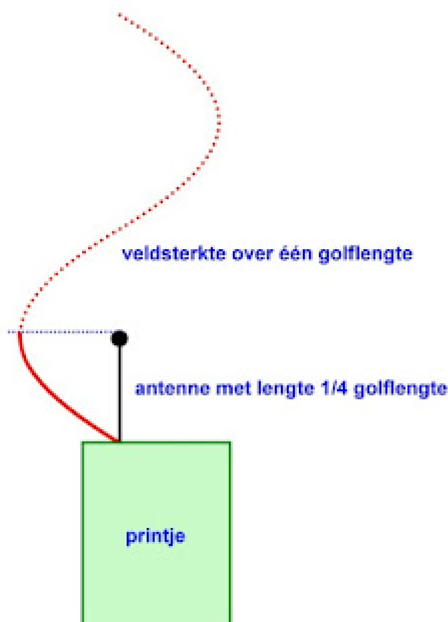
Het principe van Amplitude Shift Keying of ASK. (© 2018 Jos Verstraten)

433 MHz communicatie werkt met korte telegrammen

Er zijn, misschien zonder dat u het weet, ongetwijfeld een heleboel apparaten in uw buurt aanwezig die zenden en ontvangen op 433 MHz. Denk aan de draadloze deurbel van uw buren, uw eigen wanddimmers en de garagepoort opener van uw andere buren. Omdat deze elkaar uiteraard kunnen storen is het verboden dat die apparaten constant signalen uitzenden. Stel dat u een weerstation hebt dat draadloos communiceert met een buitenthermometer. Die thermometer zal bijvoorbeeld iedere tien minuten even snel de momentane temperatuur verzenden, in de hoop dat zijn basisstation deze uitzending opvangt en er de temperatuur uit weet te filteren. Zo'n pulstrein van 433 MHz signalen noemt men een 'telegram'. Een telegram bestaat steeds uit twee woorden. Het eerste woord bevat een unieke ID- of adres-code, waardoor de ontvanger weet dat 'zijn' zender aan het zenden is. Het tweede woord bevat de gegevens die de zender moet versturen, bijvoorbeeld de temperatuur. Het is toegestaan dat de zender zijn telegram een paar maal achter elkaar verstuurt, zodat de kans vrijwel 100 % wordt dat de ontvanger het bericht ontvangt.
Dank zij deze communicatie via korte telegrammen met ID's kunt u in uw huis zowel zenders en ontvangers van KlikAanKlikUit toepassen, een draadloos weerstation installeren en een elektronisch te openen garagepoort gebruiken zonder dat deze drie systemen elkaar in de weg zitten.

Wat u goed moet beseffen
ASK-communicatie op 433 MHz is een uiterst eenvoudig systeem. Het is ideaal om zélf mee te experimenteren omdat u er weinig kennis en eenvoudige hardware voor nodig hebt. Het systeem is echter niet 100 % betrouwbaar. Als twee zenders toevallig precies op hetzelfde moment een telegram versturen is de kans groot dat beide signalen met elkaar interfereren en dat de ontvangers de telegrammen niet als 'eigen' beschouwen en er niets mee doen.

Het gebruik van antennes
Als u 433 MHz modules gebruikt zonder extra antenne's zult u maar een heel beperkte reikwijdte krijgen. Vandaar dat wordt aanbevolen zowel de zender- als de ontvanger-modules aan te sluiten op een externe antenne. De meeste printjes hebben hiervoor een aansluiting. Blijft de vraag hoe die antenne er uit moet zien en hoe groot hij moet zijn.
In de meeste artikelen over dit onderwerp wordt aangeraden een staafantenne met een lengte van een kwart golflengte toe te passen, een zogenaamde *'quarter wave'* antenne. Zoals uit onderstaande figuur blijkt is de veldsterkte op de top van een dergelijke antenne maximaal. Bij het signaalinvoerpunt is de veldsterkte echter nul en de stroom maximaal. Op deze manier wordt er een maximaal vermogen in de antenne gepompt en zal de reikwijdte het grootst zijn.
Zoals u misschien weet is de golflengte van een signaal gelijk aan de lichtsnelheid gedeeld door de frequentie van het signaal. Als u die formule toepast op een signaal van 433 MHz blijkt dat de golflengte van een dergelijk signaal gelijk is aan 69,28 cm. Een quarter wave voor deze frequentie moet dus een lengte hebben van 17,32 cm.

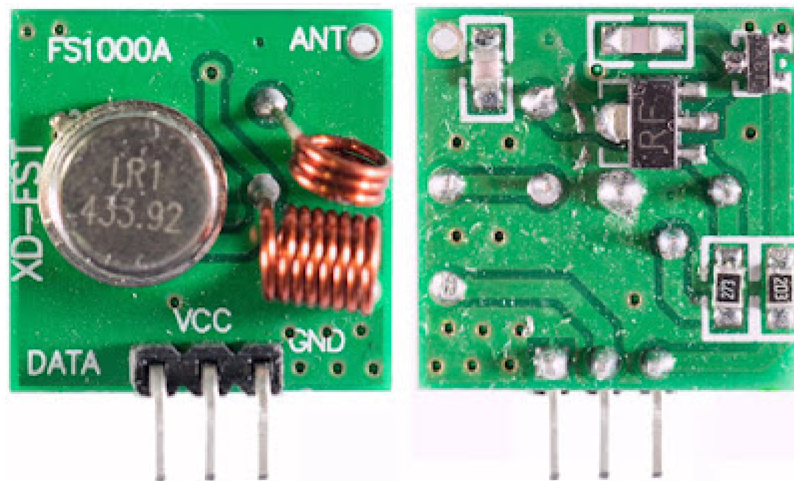


Het principe van een quarter wave antenne. (© 2018 Jos Verstraten)

Keuze in overvloed
Er bestaan tientallen modules die een signaal van 433 MHz genereren en die een data-aansluiting hebben om er ASK-modulatie op toe te passen. Ook voor het ontvangen en demoduleren van zo'n signaal kunt u kiezen uit tientallen printjes. Na uitgebreid speuren op internet vonden wij een eenvoudige en uiterst goedkope combinatie die uitstekend bruikbaar is voor het uitvoeren van uw allereerste experimenten. De bodemprijs die wij voor deze set vonden bedraagt slechts € 1,42. Let er bij het bestellen op dat u de frequentie moet specificeren. De set wordt namelijk zowel met een frequentie van 433 MHz als 315 MHz geleverd. 315 MHz is in Japan toegestaan voor vrije communicatie, maar niet in Europa.

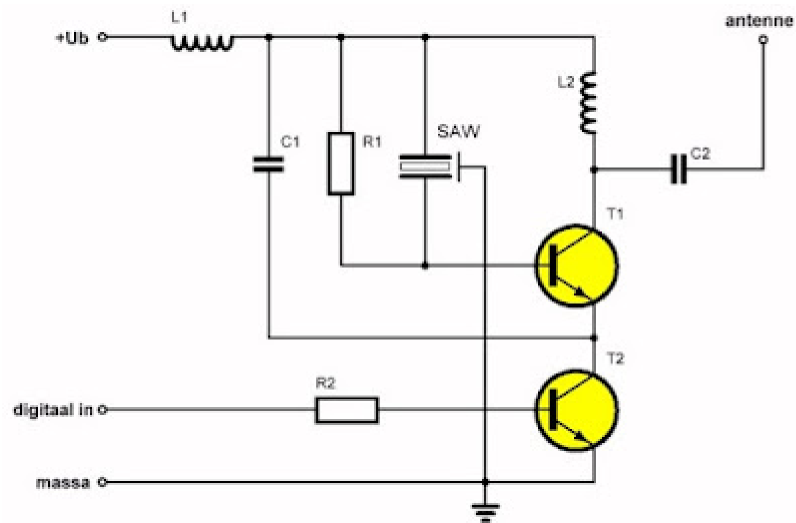
De zendermodule FS1000A of XD-FST

De presentatie
De in onderstaande figuur voorgestelde module wordt geleverd met twee benamingen, namelijk FS1000A of XD-FST. Op dit slechts 19 mm bij 19 mm grote printje zie u aan de ene zijde twee spoeltjes en een rond, metalen onderdeel met de code LR1 433.92. Dat blijkt een zeer exotisch onderdeel te zijn, namelijk een SAW-resonator die resoneert op een frequentie van 433,92 MHz. SAW is het letterwoord van **S**urface **A**coustic **W**ave, over SAW's zal op dit blog een eigen artikel verschijnen, zie de inhoudsopgave rechts in uw browservenster. Op de andere zijde treft u twee SMD-transistoren en een paar weerstandjes en condensatoren aan. De drie aansluitpennetjes laten geen twijfel bestaan over hun functie. Rechtsboven ziet u het printgaatje voor het aansluiten van een antenne.



De zendermodule FS1000A of XD-FST. (© 2018 Jos Verstraten)

Het schema van de zendermodule
Het schema van deze module is getekend in onderstaande figuur. De transistor T1 is de oscillator. De SAW-resonator is opgenomen tussen de collector en de basis en zorgt dus voor het vervullen van de oscillatie-voorwaarde van de schakeling. Alleen ruis met een frequentie van 433,92 MHz wordt rondgekoppeld en zal dus steeds meer worden versterkt tot er een mooi zendsignaal met deze frequentie ontstaat. Dit signaal wordt via een LC-kring gekoppeld aan de antenne. Het zendsignaal vloeit uiteraard ook door dit spoeltje L2. Rond dit spoeltje ontstaat dus een elektromagnetisch veld en het is dit veld dat er verantwoordelijk voor is dat de module ook zonder antenne een bepaald klein zendbereik heeft.
De ASK-modulatie wordt op een wel heel primitieve manier verzorgd door T2. Als u de basis van deze transistor stuurt met een 'L' zal de transistor sperren. Transistor T2 wordt stroomloos en houdt uiteraard op met oscilleren. Stuurt u een 'H' in de basis, dan gaat T2 geleiden en wordt de oscillator rond T1 aan het werk gezet.

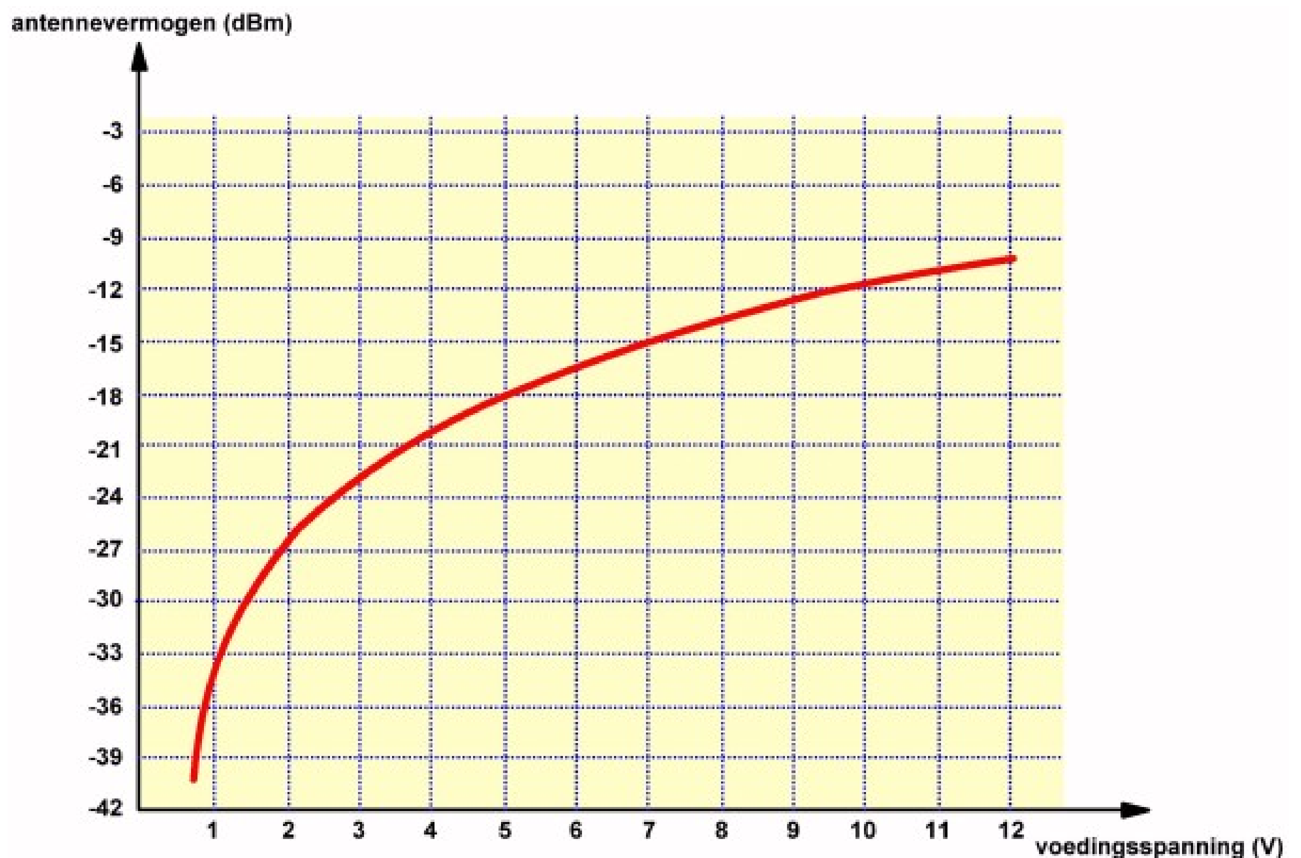


Het schema van de zendermodule FS1000A of XD-FST. (© 2018 Jos Verstraten)

De technische specificaties
De technische specificaties van deze module zijn, kort samengevat:

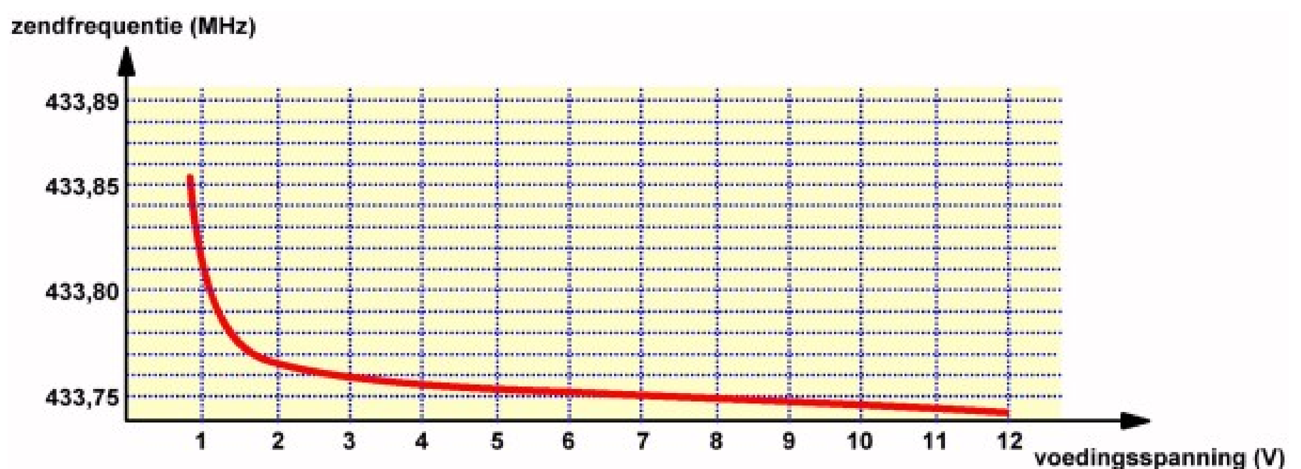
- **Productcode:** XD-FST of FS1000A
- **Fabrikant:** onbekend
- **Frequentie:** 433,92 MHz of 315,00 MHz
- **Modulatie:** ASK
- **Zendvermogen:** 10 mW
- **Datasnelheid:** 10 kB/s
- **Bereik:** ongeveer 20 m (afhankelijk van voeding en antenne)
- **Voedingsspanning:** 3,0 V_{dc} ~ 12,0 V_{dc}
- **Voedingsstroom:** 28 mA max. actief
- **Afmetingen:** 19 mm x 19 mm
- **Gewicht:** 3 g

Het zendvermogen
Het zendvermogen van de module wordt gespecificeerd als 10 mW. In de praktijk blijkt echter dat het zendvermogen nogal afhankelijk is van de voedingsspanning. Onze collega's van Gough's Tech Zone hebben het reële zendvermogen in functie van de voedingsspanning gemeten, metingen die wij in een mooie grafiek hebben verwerkt. Hieruit blijkt dat het zendvermogen met 13 dB stijgt als u de voedingsspanning opvoert van 3,0 V tot 12,0 V.



Het zendvermogen in functie van de voedingsspanning.
(© 2018 Jos Verstraten naar gegevens van Gough's Tech Zone)

Stabiliteit van de frequentie
Door de collega's van Gough's Tech Zone werd ook de zendfrequentie in functie van de voedingsspanning opgemeten. Uit onderstaande grafiek blijkt dat deze ongeveer 100 kHz varieert tussen een voedingsspanning van 1,0 V en 12,0 V. Dat is vreemd want u denkt waarschijnlijk, net zoals wij, dat de SAW een zeer stabiele resonantiefrequentie heeft die zich niets aantrekt van de voedingsspanning van de schakeling waarin hij wordt toegepast.

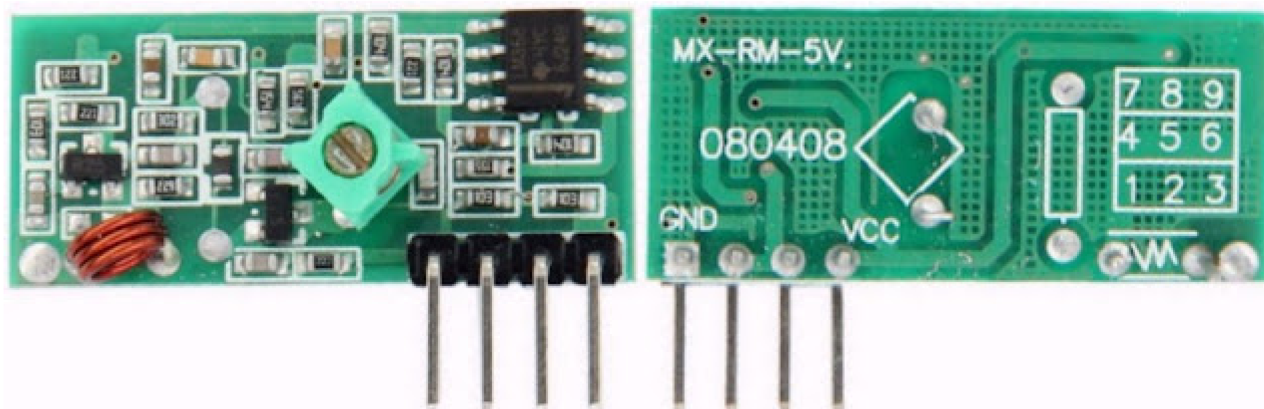


De zendfrequentie in functie van de voedingsspanning.
(© 2018 Jos Verstraten naar gegevens van Gough's Tech Zone)

De ontvangermodule XD-RF-5V

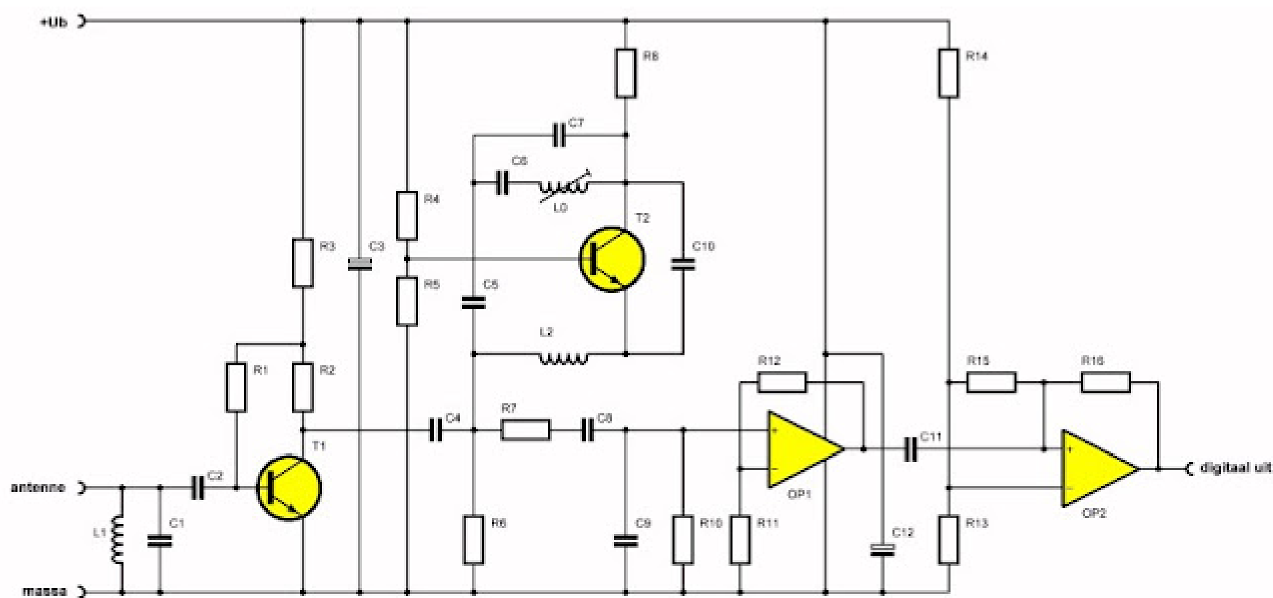
De presentatie
Zoals onderstaande foto bewijst is de ontvanger heel wat complexer dan de zender. Op de 30 mm x 14 mm grote print ziet u een heleboel componenten. Dat is logisch, want de toch al lage

vermogensflux bij de zendantenne neemt heel snel af als u de afstand tussen zender en ontvanger vergroot. De ontvanger zal waarschijnlijk maar een paar µW vermogen oppikken en moet dat kleine signaal flink versterken. Bovendien krijgt de ontvanger te maken met ruis en het ligt voor de hand dat er een AVR, een **A**utomatische **V**ersterking **R**egeling, aanwezig moet zijn om de versterking van de 433 MHz versterker te regelen. U ziet twee transistoren en een dubbele operationele versterker. De twee middelste pennen van de connector zijn met elkaar verbonden en vormen de uitgang van de schakeling. Helemaal linksonder, naast het spoeltje, is het soldeereilandje te zien waarop u eventueel een antenne kunt aansluiten.



De voor- en achterzijde van de ontvangerprint XD-RF-5V. (© 2018 Jos Verstraten)

Het schema van de ontvangstmodule
Er zijn diverse versies van de module in omloop met kleine variaties in het schema en in de print. Toch komt de elektronica in grote lijnen overeen met wat wij in onderstaand schema hebben getekend.
Het antennesignaal wordt aangeboden aan een resonantiekring L1/C1 die is afgestemd op de zenderfrequentie. Nadien volgt een transistorversterker rond T1. Het versterkte signaal wordt uitgevoerd via de scheidingscondensator C4. Rond transistor T2 is een eenvoudige spanningsgestuurde verzwakker samengesteld. Deze sluit een kleiner of groter deel van het signaal over R6 kort naar de voedingsspanning. Op deze manier zal de schakeling maximaal versterken als er geen signaal wordt ontvangen en zal er minimaal versterkt worden als een mooi 433 MHz signaal wordt ontvangen. Via het afstembaar spoeltje L0 kunt u deze kring precies afregelen op de zenderfrequentie.
Het signaal wordt nadien weer versterkt door de schakeling rond OP1. De kleine bandbreedte van deze versterker zorgt ervoor dat alleen de omhullende van de 433 MHz bursts wordt doorgekoppeld. Op-amp OP2 is als comparator met hysteris geschakeld, die verantwoordelijk is voor het omzetten van het ASK-gemoduleerde signaal in een mooie digitale puls.



Het schema van de ontvangerprint XD-RF-5V. (© 2018 Jos Verstraten)

De technische specificaties
De technische specificaties van de ontvangermodule zijn:

- **Productcode:** XD-RF-5V
- **Fabrikant:** onbekend
- **Frequentie:** 433,92 MHz
- **Demodulatie:** ASK
- **Voedingsspanning:** 5 V_{dc}
- **Voedingsstroom:** 4 mA
- **Gevoeligheid:** -105 dB
- **Afmetingen:** 30 mm x 14 mm x 7 mm

Opmerkingen
De schakeling is extreem gevoelig voor variaties in de voedingsspanning, u moet dus absoluut een gestabiliseerde 5 V voeding toepassen. De ontvanger is bovendien heel erg gevoelig voor stoorsignalen. Dat komt doordat de versterking maximaal wordt opgeschroefd als geen 433 MHz signaal wordt ontvangen. De ruis die dan wordt versterkt kan tot gevolg hebben dat de comparator aan de uitgang toch omslaat en een puls genereert.
U doet er verstandig aan vóór het verzenden van het echte telegram eerst een burst 433 MHz sinussen te verzenden, zodat de ontvanger deze ontvangt en zijn versterking kan aanpassen aan de grootte van het ontvangen signaal.
In de 'VirtualWire library for Arduino' worden ook softwarematige oplossingen voorgesteld om het probleem van stoorpulsen aan te pakken.

Het toepassen van beide modules

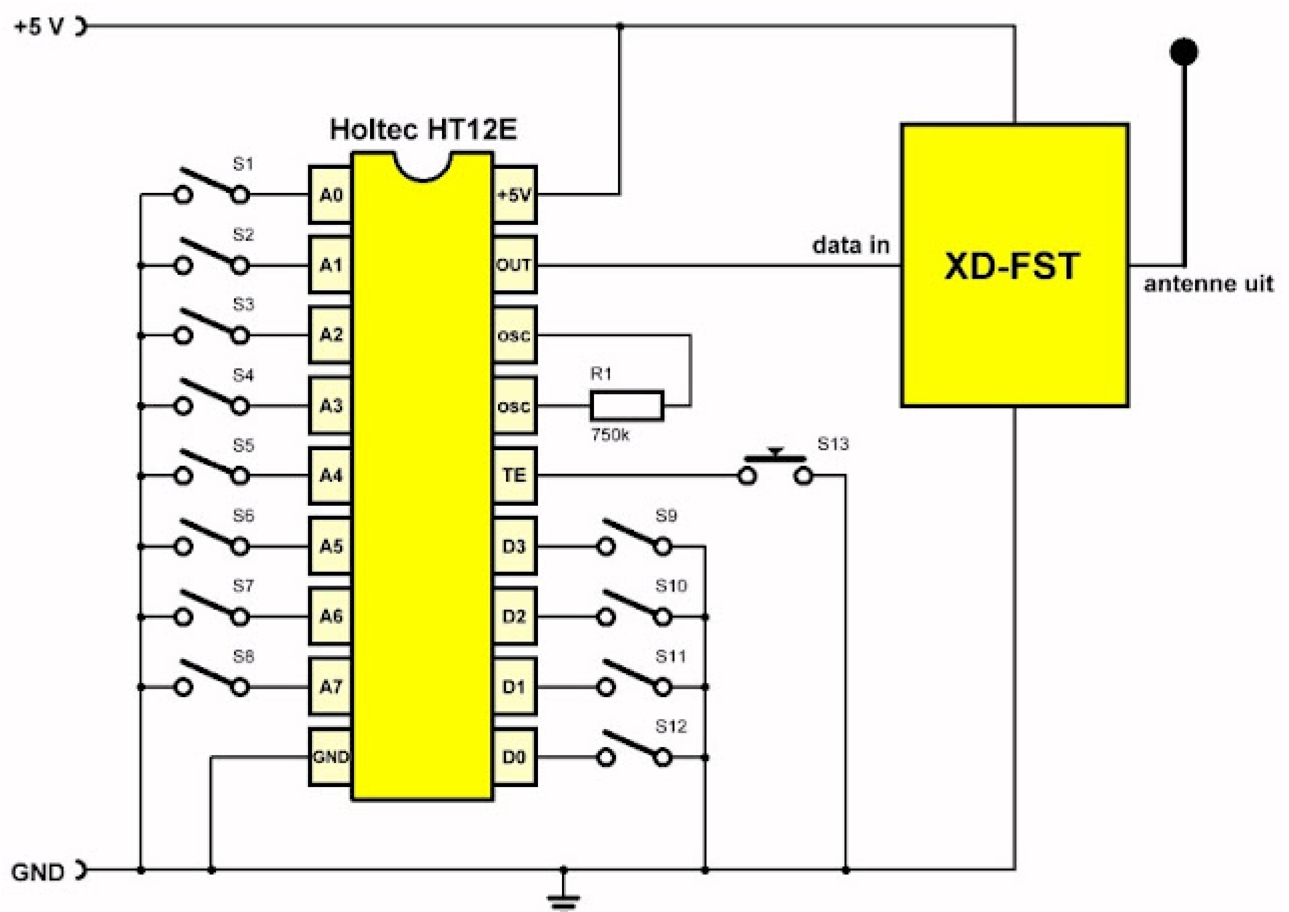
Zonder intelligente hardware gaat het niet
Als u nu denkt dat u draadloos een LED'je kunt aansturen door met een schakelaar het zendertje in en uit te schakelen en de uitgang van de ontvanger via een transistor met de LED te verbinden hebt u het goed mis. De ontvanger pikt immers ieder 433 MHz signaal op en reageert bovendien ook op flinke ruissignalen. De LED zou voortdurend aan- en uitfloepen zonder dat u er iets voor moet doen.
Het systeem werkt alleen foutloos als u de zender zó uitbreidt dat deze de reeds besproken telegrammen verzendt. Ook de ontvanger moet intelligente elektronica aan de uitgang krijgen die de telegrammen herkent en alleen als zo'n telegram wordt ontvangen de gewenste actie uitvoert.

Werken met Arduino of Raspberry Pi
Als u microcontrollers kunt programmeren kunt u natuurlijk zélf de code schrijven die noodzakelijk is om zender en ontvanger intelligent te maken. Kunt u dat niet, maar hebt u wel de twee overbekende microcontroller-boards in huis, dan kunt u de code downloaden. Het internet staat immers vol met voorbeelden die u in een Arduino of een Raspberry Pi kunt laden en die het systeem vervolmaken.

Werken met de codeer- en decoderchip's HT12E en HT12D
U kunt echter ook werken met speciale IC's die ontwikkeld zijn voor het coderen en decoderen van telegrammen. Een van de beroemdste en goedkoopste koppels is de HT12D/HT12E-combinatie van Holtec. Dit koppel is te koop voor prijzen vanaf € 2,20.
Beide IC's hebben acht adres-ingangen en vier data-ingangen respectievelijk -uitgangen.
De werking is uiterst eenvoudig. U stelt op beide IC's hetzelfde adres in, bijvoorbeeld door middel van DIP-schakelaartjes. U kunt nu met de HT12E zestien verschillende telegrammen uitzenden door de vier data-ingangen met de massa te verbinden of open te laten. Dit telegram wordt minstens vier keer achter elkaar uitgezonden.
De HT12D ontvangt deze vier telegrammen en kijkt of de samenstelling van de adres-bits klopt. Is dat het geval, dan wordt het telegram goedgekeurd en kijkt de chip welke data-bits 'L'

of 'H' zijn. Daarna stuurt hij zijn vier data-uitgangen naar dezelfde status. Deze gegevens worden opgeslagen in een interne latch en blijven daarin bewaard tot het IC een nieuw goedgekeurd telegram ontvangt.
Met deze twee IC's kunt u dus op een wel heel eenvoudige manier vier belastingen op afstand in- en uitschakelen door middel van vier schakelaars op de zender.

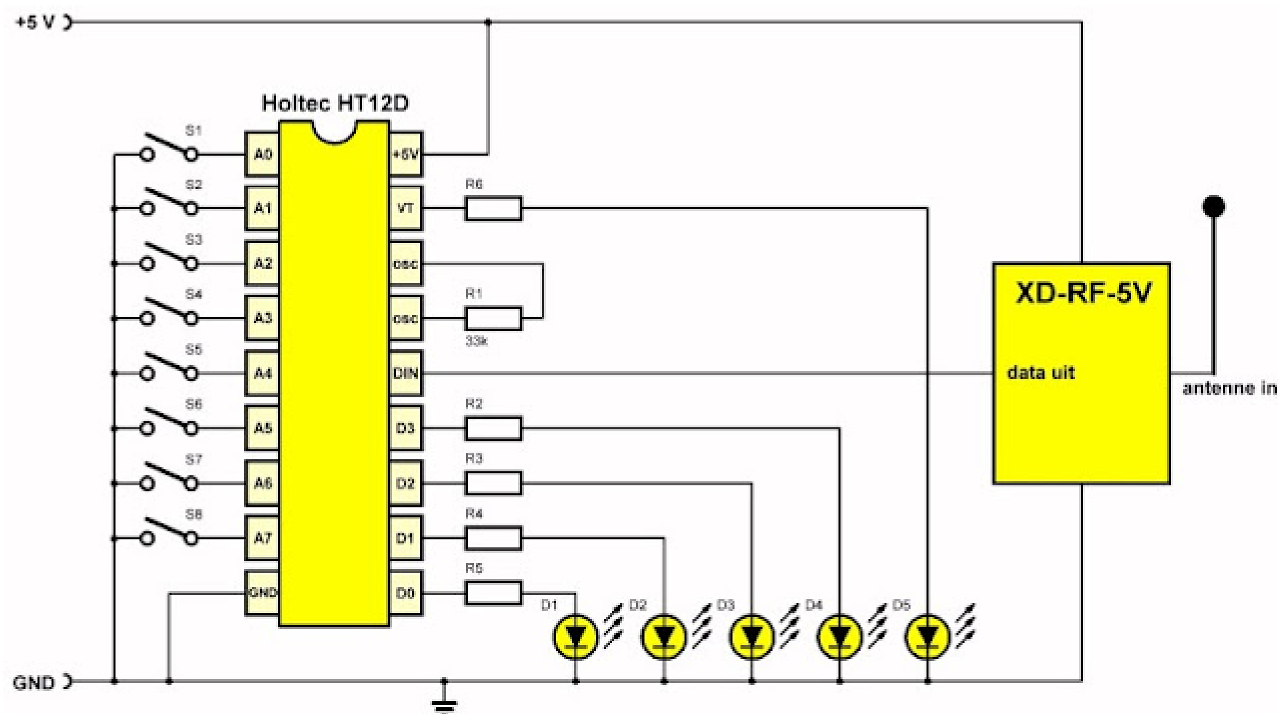
Voorbeeldschakeling van de zender
In onderstaand schema is de schakeling van de complete zender voorgesteld. De adres-pennen A0 tot en met 7 zijn intern met pull-up weerstanden met de +5 V voeding verbonden. Als deze pennen open zijn komt dat dus overeen met een 'H'. Via de schakelaars S1 tot en met S8 kunt u deze adres-ingangen met de massa verbinden, dus 'L' maken. Op deze manier kunt u het adres van de zender op 1 uit 256 codes instellen. Ook de vier data-pennen D0 tot en met D3 hangen intern met weerstanden aan de +5 V voeding. Met de schakelaars S9 tot en met S12 kunt u deze ingangen met de massa verbinden. Een gesloten schakelaar betekent dus dat u de betreffende data-lijn 'L' stuurt. De HT12E begint met het uitzenden van telegrammen als u de pen TE 'L' maakt. Dat gebeurt via de drukknop S13. Als u daar op drukt gaat het IC de telegrammen verzenden en stopt daarmee als u de drukknop weer loslaat. Op de pen OUT staan de telegrammen ter beschikking. Deze stuurt u uiteraard in de data-ingang van de 433 MHz zender XD-FST. Het geheel wordt gevoed uit een spanning van 5 V. Dat is de maximale spanning voor de HT12E. Wilt u de zender met een hogere spanning voeden (zendbereik!), dan moet u een 5 V stabilisator inschakelen voor de voeding van de chip.
Via de weerstand R1 wordt de frequentie van de interne klokoscillator op de juiste waarde ingesteld.



Het complete schema van een 433 MHz zender. (© 2018 Jos Verstraten)

Voorbeeldschakeling van de ontvanger
Het schema van de ontvanger is al even eenvoudig. Uiteraard moet u met de schakelaars S1 tot en met S8 hetzelfde adres instellen als bij de zender. De 'data uit'-pen van de 433 MHz ontvanger sluit u aan op de D_{IN} van de HT12D. De vier data-uitgangen zijn in dit schema symbolisch aangesloten op vier LED's D1 tot en met D4. Het zal duidelijk zijn dat u met deze vier data-signalen in de praktijk iets kunt in- of uitschakelen door middel van relais of optische

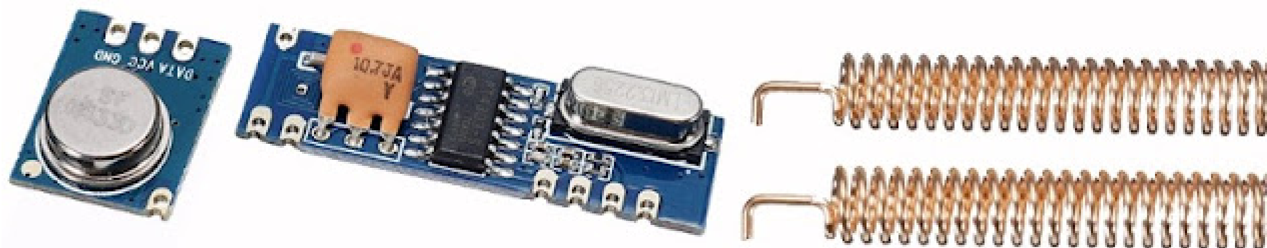
koppelaars met triac's. De uitgang VT levert een hoge puls af op het moment dat de HT12D een correct telegram ontvangt. Deze uitgang blijft 'H' zolang u op de drukknop van de zender drukt en correcte telegrammen blijft uitzenden.



Het complete schema van een 433 MHz ontvanger. (© 2018 Jos Verstraten)

Honderd meter reikwijdte op 433 MHz

De STX882/SRX882 combinatie
Met een vermogen van 10 mW is de XD-FST/XD-RF-5V combinatie hoogstens in staat twintig tot dertig meter te overbruggen. Als u een grotere reikwijdte nodig hebt, kunt u gebruik maken van twee andere modules: het STX882/SRX882 paar. Met deze combinatie van NiceRF wordt een maximale afstand van honderd meter tussen zender en ontvanger gegarandeerd. Deze modules zijn ook al spotgoedkoop, wij vonden een prijs van € 2,49 per set. De twee printjes worden geleverd met antennes die bestaan uit een spoeltje van koperdraad. Ook deze modules hebben een data-ingang en een data-uitgang die u kunt verbinden met het HT12E/HT12D paar.

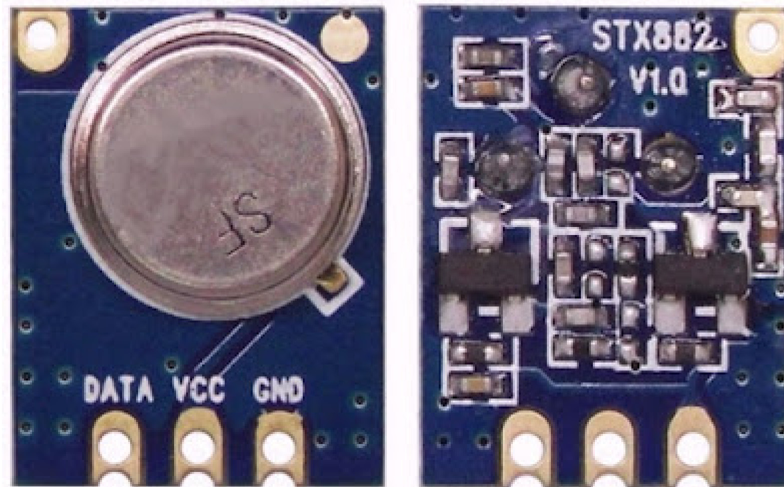


De STX882/SRX882-combinatie van NiceRF. (© 2018 Jos Verstraten)

De zendermodule STX882
Ook deze zender wordt geleverd voor zowel 433 MHz als voor 315 MHz. Opletten dus bij het bestellen! Op de ene zijde van dit 15,2 mm bij 12,0 mm groot printje ziet u alleen de vier aansluitgaatjes en een SAW-resonator. Op de andere zijde twee transistoren en wat weerstandjes en condensatoren. Ondanks uitgebreid speurwerk konden wij geen schema van deze module ontdekken. Vreemd is dat spoeltjes blijkbaar ontbreken.
Links boven zit de aansluiting voor de antenne, de drie overige aansluitingen spreken voor

zichzelf.
De technische gegevens, dixit de fabrikant NiceRF, zijn:

- **Voedingsspanning:** 1,2 V tot 6,0 V
- **Voedingsstroom passief:** kleiner dan 0,01 µA
- **Voedingsstroom bij zenden:** 34 mA bij 3,3 V voeding
- **Frequentie:** 433,82 MHz ~ 434,02 MHz
- **Zendvermogen:** 50 mW (3,6 V voeding)
- **Datasnelheid:** 9,6 kb/s max.
- **Afmetingen:** 15,2 mm x 12,0 mm x 3,4 mm



De beide zijden van de STX882 zendermodule. (© 2018 Jos Verstraten)

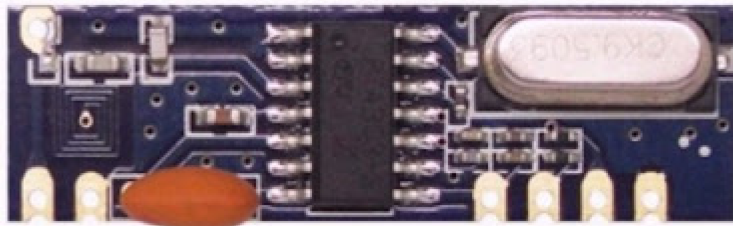
De ontvangermodule SRX882
Hart van deze schakeling is een PT4303-S chip van Princeton Technology Corp. Dat is een hoog-geïntegreerde low-power superheterodyne ontvanger voor de frequentiebanden van 433 MHz en 315 MHz. De frequentie wordt bepaald door een extern kristal. Deze chip bevat een lage-ruis versterker (LNA), een lokale spanningsgestuurde oscillator (VCO), een phase-locked loop (PLL) en een mixer naar een middenfrequentie van 10,7 MHz. Het bruine onderdeeltje dat u op de print ziet is een piëzo-ceramisch filter met een frequentie van 10,7 MHz. Dat onderdeel is maar al te goed bekend als u vroeger FM-radiootjes in elkaar soldeerde. Nadien volgen een ASK-demodulator, een data-filter en een comparator.
De fabrikant NiceRF geeft de onderstaande technische gegevens:

- **Voedingsspanning:** 2,4 V tot 5,5 V
- **Voedingsstroom actie-modus:** 2,8 mA typisch
- **Voedingsstroom in slaap-modus:** minder dan 2 µA
- **Data-vertraging:** 9 ms max.
- **Frequentiebereik:** 433,82 MHz ~ 434,02 MHz
- **Gevoeligheid:** -110 dBm typisch
- **Bandbreedte:** 200 kHz typisch
- **Maximale datasnelheid:** 9,6 kb/s
- **Afmetingen:** 35 mm x 10,4 mm x 5 mm

Uiterst links op de print ziet u zowel boven als onder een soldeereilandje waarop u de antenne kunt aansluiten. Alleen aan de onderzijde zit daarnaast een massa-aansluiting voor het aarden van een eventuele coax-kabel tussen print en antenne.
Rechts van de chip ziet u vier soldeereilandjes voor, van links naar rechts:

- De positieve voeding.
- De CS.
- De data-uitgang.
- De massa.

CS (Chip Select) is de aansluiting waarmee u de module in actie- of in slaap-modus zet. Als u deze aansluiting met de massa verbindt gaat de module naar de slaap-modus. Verbinding met de voeding activeert de module.





De beide zijden van de SRX882 zendermodule. (© AliExpress)

De antennes

De twee meegeleverde antennes zijn gewikkeld van solide koperdraad met een diameter van 0,8 mm, bevatten 23,5 windingen, zijn 32 mm lang en hebben een diameter van 5,5 mm. De impedantie bij de zendfrequentie bedraagt 50 Ω en de versterking 2,1 dB. De staande golf verhouding (Voltage Standing Wave Ratio VSWR) is, als het u wat zegt, kleiner dan 1,5.